三峡工程截流后长江口邻近海域的网采浮游植物群落结构特征

王　俊, 陈瑞盛, 左　涛

(黄海水产研究所海洋可捕资源评估与生态系统实验室, 山东 青岛　266071)

摘要: 通过对 2004 年 9 月、2005 年 5 月、2006 年 6 月和 2007 年 8 月 4 个航次的长江口邻近海域浮游植物调查资料的分析, 研究三峡工程截流后长江口邻近海域网采浮游植物的群落结构特征。结果显示, 调查水域网采浮游植物共有 2 门 36 属 93 种(包括 7 个变种和 6 个不确定种), 硅藻门的种类数量最多, 有 30 属 76 种, 占总种数的 81.7%; 甲藻门 6 属 17 种, 占总种数的 18.3%。其中, 硅藻门以角毛藻属、圆筛藻属和根管藻属的种类最多, 分别有 23 种、10 种和 10 种; 甲藻门以角藻属为主, 共有 10 种, 占甲藻总种数的 58.8%。长江口邻近海域的浮游植物可分为河口半咸水和近岸低盐类群、外海高盐类群和海洋广布性种类等 3 个类群。浮游植物的丰度具有明显的季节变化, 夏末(8 月)和秋季(9 月)浮游植物的数量明显高于春季(5 月)和夏初(6 月), 而且硅藻类浮游植物的数量占绝对优势, 达到浮游植物总量的 95% 以上。优势度分析显示中肋骨条藻、尖刺菱形藻、柔弱角毛藻和洛氏角毛藻是长江口邻近水域浮游植物的主要优势种, 其中以中肋骨条藻和尖刺菱形藻为绝对优势种。浮游植物丰度的分布跟长江冲淡水有密切的关系, 密集分布区主要分布在 123.5°E 以西近长江口海域, 主要由优势种骨条藻等的分布决定。

关键词: 三峡工程; 长江口; 浮游植物; 群落结构

中图分类号: Q948.15　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1674 - 3075(2009)02 - 0080 - 08

浮游植物是海洋主要的初级生产者, 处于海洋生态系统食物链的关键环节, 是海洋中鱼、虾、贝类及其它植食性浮游动物的基本饵料。浮游植物还可以作为海流和水团的指示种, 有助于研究和了解海流和水团的流动与变化(钱树本和柴心玉, 1989)。浮游植物在一定条件下暴发性增殖形成赤潮, 已成为世界性海洋重大灾害之一(陈翰林等, 2006; 张传松等, 2007; WANG Zheng - fang et al, 2000; Townsend D W et al, 2001; David W et al, 2005)。长江口及其邻近海域受长江径流冲淡水、台湾暖流及黄海冷水团等的影响, 生态环境错综复杂, 长江携带的大量营养盐为海洋浮游植物提供了有利的生存条件, 长江口两侧有著名的舟山渔场和吕泗渔场, 在我国海洋渔业经济中占有重要地位。20 世纪 70 年代以来大量开展有关长江口浮游植物群落的研究工作(郭玉洁和杨则禹, 1982; 顾新根等, 1985; 徐兆礼等, 1999; 王金辉, 2002)。随着近年来赤潮的频发, 有关长江口及其邻近海域浮游植物及赤潮的研究引起人们的广泛关注(徐韧等, 1994; 朱根海等, 2003; 王金辉等, 2006; 赵卫红等, 2006; 王云龙等, 2008)。

三峡工程是当今世界最大的水利枢纽工程, 也是我国治理和开发长江的关键性骨干工程, 具有防洪、发电、航运等巨大的综合效益, 必将对我国经济和社会建设发挥巨大的推动作用, 但同时也会对大坝上游和下游的生态与环境带来深远的影响。因此, 三峡工程建设引起的流域及河口区域的生态问题已受到政府和科研人员的重视, 相继开展了大量相关研究。早在 20 世纪 80 年代中期, 为了评价三峡工程对长江口及其邻近海域可能产生的影响, 中国科学院海洋研究所于 1985 ~ 1986 年对长江口及其邻近海域进行了全面调查。郭玉洁等(1992)估计, 三峡工程枯季调流将缩小冲淡水的范围, 近岸盐度上升将影响长江口水域优势种骨条藻的数量和分布, 进而成为限制浮游植物数量增长的主要矛盾。同时, 苏北沿岸水和杭州湾近岸水对长江口水域的影响也将增大, 更重要的是外海高盐水向岸逼近, 带来更多的暖水种, 使江口低盐的浮游植物群落结构和生态性质发生改变。三峡工程建成后于 2003 年 6 月开始蓄水至 135 m, 11 月继续蓄水至 139 m, 2006 年 10 月蓄水至 156 m, 2008 年汛末蓄水至 175 m。三峡库区的用水调度, 必将改变长江入海的径流量及其分配格局, 对河口区及其邻近海域生态的影响已是关注的焦点。本文自 2004 年 9 月 ~ 2007 年 8 月, 在长江口邻近海域对浮游植物进行了 4 个

收稿日期: 2009 - 02 - 19

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(30490233 和 40606037)资助和农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站资助。

作者简介: 王俊, 1964 年生, 硕士, 研究员, 主要从事海洋生态学研究。E - mail: wangjun@ ysfri. ac. cn

航次调查,旨在了解三峡工程蓄水后该区域浮游植物的群落结构特征,为进一步研究该区浮游植物生态系统结构对水文特性和生源要素变化的响应提供依据。

1　材料与方法

1.1　站位设置和样品采集

分别于 2004 年 9 月搭乘“中国海监 47 号”、2006 年 6 月搭乘中国海洋大学“东方红 2 号”、2005 年 5 月和 2007 年 8 月搭乘黄海水产研究所“北斗号”调查船,对长江口海域网采浮游植物进行了调查取样。调查范围及站位见图 1。

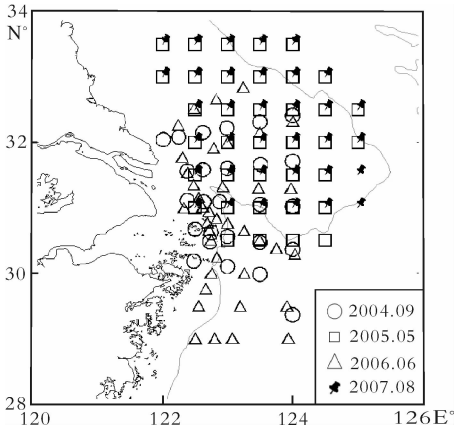

图 1　调查海区及站位分布

Fig. 1　Survey area and sampling stations

网采浮游植物的样品采集使用小型浮游生物网(网口直径为 37 cm,网口面积 0.1 m^2,网身长 270 cm,网目 76 μm),采样方式:在每个调查站位自海底至海面垂直拖网 1 次,样品以 5% 甲醛溶液固定保存。样品带回实验室后,在光学显微镜下进行网采浮游植物种类鉴定和计数,然后换算成每 1 m^3 网采浮游植物的个数。

1.2　计算方法

网采浮游植物的优势度指数(Mcnaughton index)Y 计算公式为:$Y=\frac{n_i}{N}f_i$,式中 n_i 为第 i 种的数量,N 为采集样品中的所有种类总个体数,f_i 为该种在各样品中出现的频率。

2　结果

2.1　网采浮游植物种类组成

调查共鉴定网采浮游植物 36 属 93 种(包括 7 个变种和 6 个不确定种),分属于硅藻门和甲藻门:硅藻门的种类和数量最多,有 30 属 76 种,占总种数的 81.7%;甲藻门 6 属 17 种,占总种数的 18.3%。硅藻门以角毛藻属、圆筛藻属和根管藻属的种类最多,分别为 23 种、10 种和 10 种,分别占硅藻总种数的 30.2%、13.2%、13.2%;甲藻门以角藻属为主,共有 10 种,占甲藻总种数的 58.8%。其中,2004 年 9 月调查海域的网采浮游植物种类数量最高,为 68 种(硅藻 51 种,甲藻 17 种);2005 年 5 月份调查海域的网采浮游植物的种类数量最低,为 48 种(硅藻 44 种,甲藻 4 种);2006 年 6 月和 2007 年 8 月调查海域的网采浮游植物的种类数与 2004 年 9 月相近,分别为 63 种(硅藻 55 种,甲藻 8 种)和为 65 种(硅藻 57 种,甲藻 8 种)。

长江口邻近海域的网采浮游植物主要为近岸型和广布型种类,有少量暖海性物种或大洋性物种,根据网采浮游植物在调查海域的分布和生态特性可划分为如下几个类群:1)河口半咸水和近岸低盐类群,该类主要以骨条藻、星脐圆筛藻、窄隙角毛藻等为代表,它们通常是该水域的主要优势种,其数量分布的密集区都接近长江口,与长江冲淡水的低盐区分布一致;2)外海高盐类群,在调查区域出现的主要是圆筛藻属的种类,如辐射圆筛藻、直线圆筛藻、偏心圆筛藻以及中华盒形藻等。3)海洋广布性种类,如菱形海线藻,在近岸水域数量较多。

2.2　网采浮游植物的丰度及其分布

在 4 个航次调查中,网采浮游植物的丰度具有明显的季节变化,夏末(2007 年 8 月)和秋季(2004 年 9 月)网采浮游植物的数量明显高于春季(2005 年 5 月)和夏初(2006 年 6 月),而且每个航次硅藻类网采浮游植物都占绝对优势,达到网采浮游植物总量的 95% 以上(图 2)。

2004 年 9 月,调查海域网采浮游植物丰度为 $1.03\times10^4\sim18\ 600.0\times10^4$ 个/m^3,平均为 $1\ 399.6\times10^4$ 个/m^3。硅藻在各站位的平均丰度为 $1\ 392.7\times10^4$ 个/m^3,甲藻的平均丰度为 7.3×10^4 个/m^3,分别占网采浮游植物总量的 99.5% 和 0.5%。在硅藻门中,骨条藻属的丰度居首位,为 $1\ 038.8\times10^4$ 个/m^3,占网采浮游植物总量的 74.2%,其次为角毛藻属,丰度为 230.0×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总量的 16.4%,菱形藻属占 3.1%。在甲藻门中,角藻属的丰度占绝对优势,占甲藻门总量的近 60.0%。网采浮游植物密集区位于调查海域的中部,靠近长江入海南支流口门外水域,网采浮游植物的丰度最高为 $18\ 600\times10^4$ 个/m^3,该水域多数站的丰度超过 $1\ 000\times10^4$ 个/m^3。调查区东南部水域网采浮游植

物较为稀少,平均数量不足 5×10^4 个/m^3(图3)。

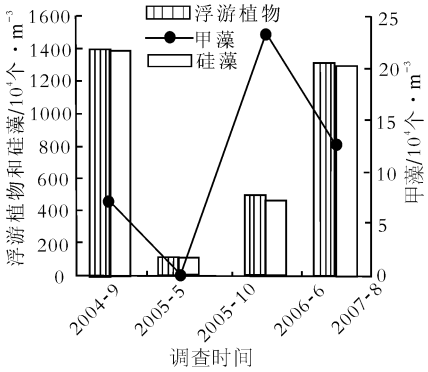

图2 长江口邻近海域浮游植物的丰度变化

Fig. 2 Variation of net-phytoplankton abundance in the adjacent waters of Yangtze River Estuary

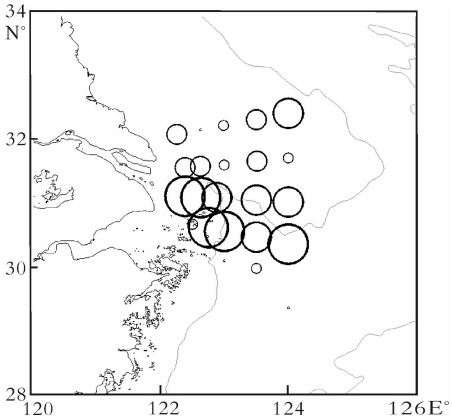

图3 2004年9月长江口邻近水域网采浮游植物的丰度分布

Fig. 3 Distribution of net-phytoplankton abundance in the adjacent waters of Yangtze River estuary of September, 2004

2005年5月,调查海域网采浮游植物丰度为 $0.29\times10^4\sim1\ 281.70\times10^4$ 个/m^3,平均为 115.7×10^4 个/m^3,硅藻在各站位的平均丰度为 115.4×10^4 个/m^3,甲藻的平均丰度为 0.3×10^4 个/m^3,分别占网采浮游植物总量的99.7%和0.3%。硅藻门中,骨条藻的丰度居首位,为 42.6×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的36.8%,其次为菱形藻属,为 28.7×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的24.9%,再次是根管藻属,占19.2%,角毛藻属占9.4%。在甲藻门中,多甲藻的丰度占绝对优势,可占甲藻门总丰度的54.09%以上。网采浮游植物密集区位于调查区32.5°N以北,接近长江口水域,平均丰度为 207.2×10^4 个/m^3,长江口外123°E以东的丰度较低,平均为 17.1×10^4 个/m^3,调查区东南部水域最低,平均仅为 1.2×10^4 个/m^3(图4)。

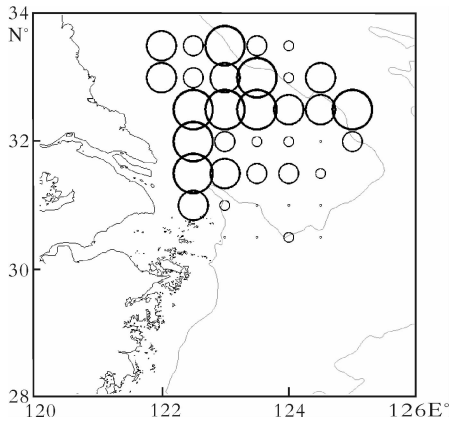

图4 2005年5月长江口邻近水域网采浮游植物的丰度分布

Fig. 4 Distribution of net-phytoplankton abundance in the adjacent waters of Yangtze River estuary of May, 2005

2006年6月,调查海域网采浮游植物丰度为 $6.9\times10^4\sim4\ 460.8\times10^4$ 个/m^3,平均为 481.4×10^4 个/m^3,其中,硅藻的平均丰度为 459.4×10^4 个/m^3,甲藻的平均丰度为 22.1×10^4 个/m^3,分别占网采浮游植物总量的95.4%和4.6%。在硅藻门中,角毛藻属的丰度最高,占网采浮游植物总量的31.7%,其中软弱角毛藻的丰度最高,为 81.1×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的16.8%,其次是菱形藻属,平均丰度为 139.9×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的29.1%,仅尖刺菱形藻就高达 135.8×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的28.2%,是单种丰度最高的种类,再次为骨条藻,平均丰度为 126.1×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的26.2%。在甲藻门中,夜光藻占绝对优势,平均丰度占甲藻门总量的61.9%。网采浮游植物密集区主要有3块:长江口以北近岸水域,平均丰度为 898.9×10^4 个/m^3;调查区南侧水域,平均丰度为 $1\ 356.7\times10^4$ 个/m^3;调查区中部舟山群岛外侧水域,平均丰度为 208.7×10^4 个/m^3。调查区中间123°E以东网采浮游植物的丰度非常低,网采浮游植物的丰度为 $6.9\times10^4\sim45.2\times10^4$ 个/m^3。

2007年8月,调查海域网采浮游植物丰度为 $5.5\times10^4\sim1\ 329.1\times10^4$ 个/m^3,平均为 $1\ 312.9\times10^4$ 个/m^3。硅藻的丰度在各站位均占优势,平均丰度为 $1\ 300.7\times10^4$ 个/m^3,甲藻的丰度较低,平均丰度为 12.2×10^4 个/m^3,分别占网采浮游植物总量的99.1%和0.9%。硅藻门中,角毛藻属的丰度最高,其次是菱形藻属,平均丰度分别为 684.3×10^4 个/m^3 和 239.8×10^4 个/m^3。单种丰度最高的是旋链角毛藻,平均丰度为 333.7×10^4 个/m^3,占网采浮游

植物总丰度的 25.4%,其次是尖刺菱形藻,平均丰度为 215.7×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的 16.4%,骨条藻的平均丰度为 209.4×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的 16.0%,其次为洛氏角毛藻,为 165.7×10^4 个/m^3,占网采浮游植物总丰度的 12.6%。网采浮游植物的主要密集区在长江口以北近岸水域,网采浮游植物的平均丰度为 $3\ 461.0\times10^4$ 个/m^3,调查区 124°E 以东网采浮游植物的丰度较低,平均丰度为 225.4×10^4 个/m^3(图 6)。

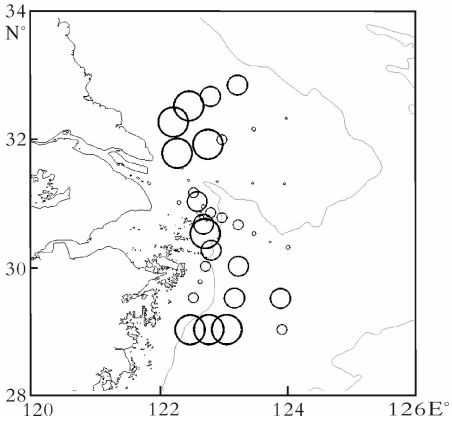

图 5　2006 年 6 月长江口邻近水域网采浮游植物的丰度分布

Fig. 5　Distribution of net-phytoplankton abundance in the adjacent waters of Yangtze River estuary of June, 2006

2.3　网采浮游植物的优势种

根据优势度公式计算每个调查航次网采浮游植物的优势度,取优势度大于 1% 作为优势种,各调查航次的优势种列于表 1,每个航次优势种的丰度都占网采浮游植物总量的 84% 以上,最高的为 2004 年 9 月,占 90% 以上,仅骨条藻就占网采浮游植物总量的 74.2%。从表中可以看出,在 4 个航次调查中,长江口邻近水域网采浮游植物的主要优势种为中肋骨条藻、尖刺菱形藻、柔弱角毛藻和洛氏角毛藻,其中以中肋骨条藻和尖刺菱形藻为绝对优势种,在每个航次中都有较高的丰度。除上述 2 种外,其他优势种的季节或年间交替明显,并且优势种的数量也存在较大差异。

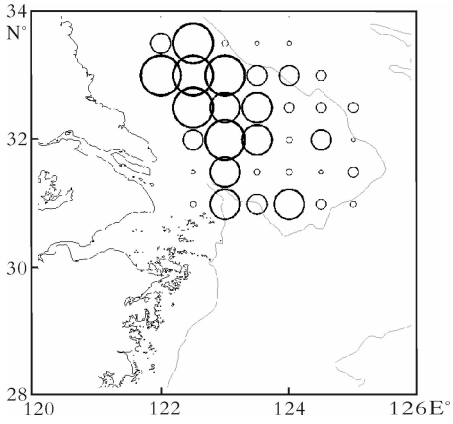

图 6　2007 年 8 月长江口邻近水域网采浮游植物的丰度分布

Fig. 6　Distribution of net-phytoplankton abundance in the adjacent waters of Yangtze River estuary of August, 2007

表 1　长江口邻近海域网采浮游植物优势种及其占总量的百分比

Tab. 1　Dominant species of net-phytoplankton and it's percentage of the total number in the adjacent waters of Yangtze River estuary　　%

种类 Species	2004 年 9 月 Sep. 2004	2005 年 5 月 May 2005	2006 年 6 月 Jun. 2006	2007 年 8 月 Aug. 2007
窄隙角毛藻 *Chaetoceros affinis*	1.34	0.04	2.70	2.30
柔弱角毛藻 *Chaetoceros debilis*	1.79	8.20	16.80	4.90
旋链角毛藻 *Chaetoceros curvisetus*	6.00	–	0.35	25.40
洛氏角毛藻 *Chaetoceros lorenzianus*	5.40	0.08	6.30	12.60
星脐圆筛藻 *Coscinodiscus asteromphalus*	0.13	0.95	1.10	0.16
菱软几内亚藻 *Guinardia flaccida*	0.25	–	0.30	2.80
距端根管藻 *Rhizosolenia calcar – avis*	–	–	0.31	2.40
笔尖形根管藻 *Rhizosolenia styliformis*	0.02	–	0.40	2.10
笔尖形根管藻变种 *Rhiz. styliformis var. latissima*	0.002	15.00	0.05	0.01
新月菱形藻 *Nitz. closterium*	0.07	6.20	0.90	0.13
尖刺菱形藻 *Nitzschia pungens*	3.00	18.50	28.20	16.40
中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*	74.20	36.80	26.20	16.00
菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides*	1.70	1.76	1.30	2.30
夜光藻 *Noctiluca miliaris*	0.08	0.03	2.80	0.31
占网采浮游植物总量 Percentage of the total number	93.98	87.56	87.71	87.81

注:–代表未检出。

Notes: Symbols – empressed that it's no detected.

3 讨论

关于长江口邻近海域浮游植物生态类型的划分已有较多的研究,因研究区域的差异,分别将长江口水域浮游植物划分为3~5个生态类型。郭玉洁等(1982)将长江口及其邻近水域浮游植物划分为近岸性、外海性和广布性3种类型,又进一步细分为偏高温低盐近岸型、高温次高盐近岸型、偏低温高盐外海型、高温高盐外海型和广温广盐性类型5个小类。朱根海等(2003)将长江口邻近海域浮游植物划分为沿岸河口低盐半咸水类群、沿岸偏低盐广布性类群、外海高盐暖水性类群等3个主要类群。张锦平(2006)将长江口水域浮游植物划分为淡水性类群、河口低盐性类群和外海高盐性类群。王金辉(2002)将长江口及其邻近海域的浮游植物划分为淡水类群、河口半咸水类群、近岸低盐性类群、外海高盐性类群和海洋广布性类群5个类群。上述的研究除王金辉(2002)和张锦平(2006)的研究区域由于包括了长兴岛至崇明岛江段,浮游植物中出现了以钝脆杆藻、格孔单突盘星藻等为优势的淡水种类外,都包括了低盐性类群、外海类群和广布性类群,因此这3个类群是该水域的主要类群。本文根据调查区域网采浮游植物的分布和生态特点,分为以骨条藻、星脐圆筛藻、窄隙角毛藻等为代表的河口半咸水和近岸低盐类群,以辐射圆筛藻、直线圆筛藻、偏心圆筛藻以及中华盒形藻等为代表的外海高盐类群和以菱形海线藻等为代表的海洋广布性种类。

在温带海区,海水的水文、化学特征受季节变化的影响较大,浮游植物的种类组成和数量也都发生相应变化,尤其是数量变化的季节特征更为明显,通常呈现双周期的季节特征,即在春季和秋季各有1个浮游植物的数量高峰,夏季和冬季数量较低。长江口邻近海域是多种水系相混合的水体,浮游植物的种类组成和丰度分布与长江径流、钱塘江径流、黄海及东海沿岸流以及台湾暖流影响的强弱都有关系,尤以苏北沿岸的黄海沿岸流、长江与钱塘江的径流对浮游植物的影响更为直接(吴玉霖,2003)。因此,长江口及其邻近水域因受丰水期(6月~9月)径流的影响,浮游植物的数量高峰往往出现在夏季,丰水期可达9 000×10^4个/m^3左右(郭玉洁和杨则禹,1992)。本研究中春季(2005年5月)最低,随着夏初(2006年6月)径流的增加网采浮游植物丰度也开始增高,到夏末(2007年8月)和秋初(2004年9月)网采浮游植物的丰度明显增高,达到1 300×10^4个/m^3左右,说明长江口及其邻近海域浮游植物丰度受径流影响比较明显,而且丰度的季节变化态势基本稳定,但网采浮游植物的丰度明显下降。这种现象出现在黄海、渤海等海域(王俊,2001, 2003;孙军,2005)。

根据以往众多的研究表明,每年的6月至9月为长江的丰水期,此间浮游植物的丰度较高,低盐性种类如骨条藻是浮游植物的主要优势种,往往左右着浮游植物丰度的分布趋势(图7)。郭玉洁等(1992)在报告中列出1959年、1960年、1985年和1986年长江口邻近海域丰水期骨条藻的丰度在浮游植物总量中的平均比例分别为61%、99%、99%和84%,总平均为83%。王云龙等(2005,2008)分别报告了长江口及其邻近水域2000~2003年间春季(5月)和夏季(8月)浮游植物的分布特征,结果显示春季骨条藻的优势度(占浮游植物总量的百分比)除2001年为98.6%,其他年份在21.3%~28.2%,总平均为43.6%;夏季骨条藻的优势度2000年为98.3%、2001年为69.6%、2002年为66.1%、2003年仅为39.2%,总平均为68.3%。在本研究中,长江口邻近海域骨条藻的优势度见表2,春季为36.8%,丰水期(6月、8月和9月)平均为38.8%,其中2004年9月最高为74.2%。可以看出,20世纪80年代中期以前,骨条藻的优势度非常高,到20世纪末和21世纪初出现大幅度下降,2004年以后下降更为明显,尽管3个不同调查的区域存在一定的差异,但从骨条藻的优势度的逐渐降低,预示着长江口及其邻近海域浮游植物的群落结构在发生变化,甚至是河口生态系统在发生变化。

长江口及其邻近海域浮游植物的群落结构特征和分布态势主要受长江径流的影响(郭玉洁和杨则禹,1992;吴玉霖,2004;王云龙,2005;王金辉,1999)。因此,三峡工程建成蓄水后长江入海径流的变化将是研究长江口及其邻近海域浮游植物群落生态响应的重要因素之一。从历年《长江泥沙公报》公布的资料显示,1950~2000年长江江苏大同站年均径流量为9 015亿m^3,2003年之后(除2005年基本持平)降低幅度为1 167亿~2 165亿m^3,而泥沙的通量自2001年就明显低于前50年的平均值。长江巨大的径流量带来的无机营养盐以及对长江口海域盐度和透明度的改变是其对浮游植物影响的主要因子(朱根海等,2003;赵卫红等,2006;汤琳等,2007)。然而,随着沿江工农业的迅速发展,大量各种形式的污染物(重金属、石油类、有机污染物

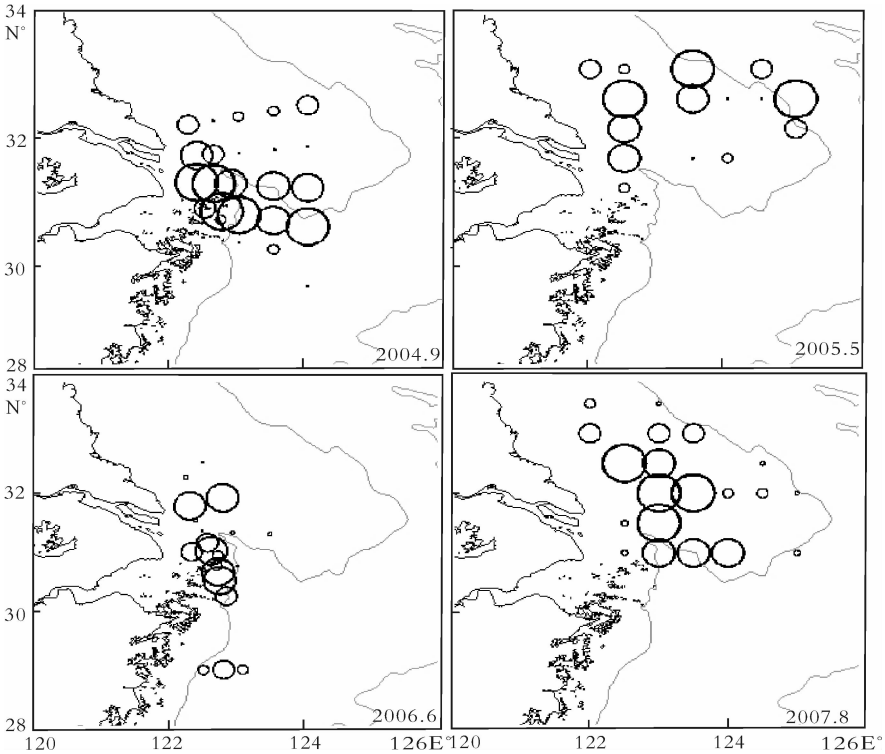

图 7　长江口邻近海域骨条藻的丰度分布

Fig. 7　Abundance distribution of *Skeletonema costatum* in the adjacent waters of Yangtze River estuary

等)也随径流进入河口海域(王百顺等,2003;袁骐等,2005;孔定江等,2007)。已有研究表明,污染物对网采浮游植物(微藻)具有毒副作用,如重金属离子(Cu、Zn、Ni、Cd、Pd、Hg 等)低浓度下通过抑制光合作用影响浮游植物的生长,高浓度则产生直接的毒副作用(陈其焕等,1988;郑志宏等,1988;王丽平等,2007;宁征等,1990);石油类污染主要表现为漂浮的油污对光的遮蔽进而影响浮游植物的光合作用和生长(孙云明和刘会峦,2001),而低浓度的石油烃可促进浮游植物尤其是赤潮种的生长,可能是赤潮发生的诱因之一(张蕾等,2002);有机污染物包括有机氯、有机磷农药以及多氯联苯等人工合成物质,它们直接对浮游植物产生毒副作用(孙云明和刘会峦,2001)。综上所述,影响长江口及其邻近海域浮游植物的因素是多方面的,长江径流带来的大量营养盐是长江口邻近海域保持高生产力的物质基础,同时径流对盐度的改变将影响浮游植物的优势种的数量和分布,进而影响浮游植物群落结构和分布,而径流带来的大量污染物也是不可忽视的影响因素。

参考文献:

陈翰林,吕颂辉,张传松,等. 2006. 2004 年东海原甲藻赤潮爆发的现场调查和分析[J]. 生态科学,25(3):226 ~ 230.

陈其焕,吴省三,庄亮钟. 1988. 重金属对海洋围隔生态系中初级生产力的影响[J]. 海洋学报,10(2):222 – 227.

顾新根, 袁骐, 杨焦文,等. 1985. 长江口外水域网采浮游植物垂直分布研究[J]. 中国水产科学, 2(1):28 – 36.

郭玉洁, 杨则禹. 1982. 1976 年夏季东海陆架区网采浮游植物生态的研究[J]. 海洋科学集刊, 19:11 – 32.

郭玉洁,杨则禹. 1992. 长江口区浮游植物的数量变动及生态分析[J]. 海洋科学集刊,33:167 – 189.

孔定江,李道季,吴莹. 2007. 近 50 年长江口的主要有机污染的记录[J]. 海洋湖沼通报,2:94 – 103.

宁征, 孙秉一, 史致丽, 等. 1990. 铜、锌、铅、镉对海洋浮游藻的毒性效应[J]. 青岛海洋大学学报,20(4):50 – 58.

钱树本,柴心玉. 1989. 根管藻对黄东海邻接水域水系的指示意义[J]. 青岛海洋大学学报,19(3):64 – 77.

孙军, 刘东艳. 2005. 2000 年秋季渤海的网采浮游植物群落[J]. 海洋学报,27(3):124 – 132.

孙云明,刘会峦. 2001. 海洋中的主要化学污染物及其危害[J]. 化学教育,(7/8):1 – 4.

汤琳, 张锦平, 许兆礼, 等. 2007. 长江口邻近水域浮游植物群落动态变化及其环境因子的研究[J]. 中国环境监测, 23(2):97 – 101.

王百顺,刘阿成,陈忠阳. 2003. 1984 – 2000 年长江口海域水质重金属浓度分布变化[J]. 海洋通报,22(2):32 – 38.

王金辉,秦玉涛,刘材材,等. 2006. 长江口赤潮多发区潜在有毒藻类和赤潮毒素的初步调查[J]. 海洋环境科学,

25(增1):15-19.
王金辉. 2002. 长江口3个不同生态系的浮游植物群落[J]. 青岛海洋大学学报,32(3):422-428.
王俊. 2001. 黄海春季浮游植物的调查研究[J]. 海洋水产研究,22(1):56-61.
王俊. 2003. 渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究[J]. 海洋水产研究,24(4):44-50.
王丽平,郑丙辉,孟伟. 2007. 重金属Cu对两种海洋微藻的毒性效应[J]. 海洋环境科学,26(1):6-9.
王云龙, 袁骐, 沈新强. 2005. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学,12(3):300-306.
王云龙, 袁骐, 沈新强. 2008. 长江口及邻近海域夏季浮游植物分布现状与变化趋势[J]. 海洋环境科学,27(2):169-172.
吴玉霖, 傅月娜,张永山,等. 2004. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系[J]. 海洋与湖沼, 35(3): 246-251.
徐韧,洪君超,王桂兰,等. 1994. 长江口及其邻近海域的赤潮现象[J]. 海洋通报,13(5):25-29.
徐兆礼,白雪梅,袁骐,等. 1999. 长江口浮游植物生态研究[J]. 中国水产科学,6(5):52-54.
袁骐, 蒋玫, 王云龙. 2005. 长江口及邻近水域油污染分布特征[J]. 海洋环境科学,24(2):17-19.
张传松, 王修林, 石晓勇, 等. 2007. 东海赤潮高发区营养盐时空分布特征及其与赤潮的关系[J]. 环境科学,28(11):2416-2424.
张锦平,夏静. 2006. 长江口浮游植物群落的聚类分析[J]. 上海水产大学学报,15(4):456-460.
张蕾,王修林,韩秀荣,等. 2002. 石油烃污染物对海洋浮游植物生长的影响——实验与模型[J]. 青岛海洋大学学报,32(5):804-810.
赵卫红,王江涛,李金涛,等. 2006. 长江口及邻近海域冬夏季浮游植物营养限制及其比较[J]. 海洋学报, 28(3): 119-126.
郑志宏,吴瑜端,刘士忠. 1988. 重金属对近海球等鞭金藻的毒性化学[J]. 环境科学学报,8(2):200-208.
朱根海, 许卫忆, 朱德第, 等. 2003. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征[J]. 应用生态学报, 14(7): 1135-1139.
David W Townsend, Stephanie L Bennett, Maura A Thomas. 2005. Diel vertical distributions of the red tide dinoflagellate Alexandrium fundyense in the Gulf of Maine [J]. Deep-Sea Research II,52:2593-2602.
Satish Sahayak, Jyothibabu R, Jayalakshmi K J, et al. 2005. Red tide of Noctiluca miliaris off south of Thiruvananthapuram subsequent to the′stench event′ at the southern Kerala coast [J]. Current Science, 89(9):1472-1473.
Townsend D W, Pettigrew N R, Thomas A C. 2001. Offshore blooms of the red tide organism *Alexandrium* sp., in the Gulf of Maine [J]. Continental Shelf Research,48:159-178.
WANG Zheng-fang , LU Hai-yan , ZHANG Qing, et al. 2000. Study of red tide prediction model for the Changj Iang Estuary[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 18(4):350-354.

(责任编辑 杨春艳)

Characteristics of Phytoplankton Community Structure in the Adjacent Waters of Yangtze River Estuary after Sluice of the Three Gorges Dam

WANG Jun, CHEN Rui-sheng, ZUO Tao

(Lab of Marine Fishable Resources Estimation and Ecosystem Management, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The phytoplankton communities in the adjacent waters of Yangtze River Estuary after sluice of the Three Gorges Dam was studied with the net-phytoplankton data from the survey in September, 2004, May, 2005, June, 2006 and August, 2007. A total of 93 species, enclosed 7 varied species and 6 unidentified species, were identified belonged to 2 phyla with 36 genera. Based on the ecological characteristics and the distribution, the phytoplankton can be divided into three groups. The species of Bacillariophyta (30 genera and 76 species) was absolutely predominant in the species composition. Only 6 genera and 17 species were Phrrhophyta. The seasonal variation of the phytoplankton abundance was significant with the higher abundance in Sep., 2004 and Aug., 2007 than that in May, 2005 and Jun., 2006. It was also found that the dense area of phytoplankton was located at western of longitude 123.5 degree and close to the mouth of Yangtze River, which mainly lie on the dominant species abundance distribution. According to their dominance index, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia pungens*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoseros affinis* and *Chaetoecros curvisetus* were dominant species. *Skeletonema coastatum* and *Nitzschia pungens* were the most dominant specie in the this area.

Key words: Three Gorges Dam; Yangtze River estuary; phytoplankton; community structure